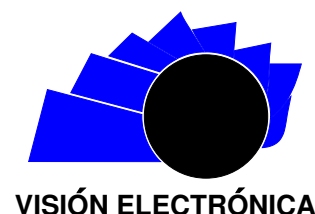




## Visión Electrónica

### *Más que un estado sólido*

<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/visele/index>



VISIÓN INVESTIGADORA

## Seguimiento del punto de máxima potencia (SPMP) en paneles solares

### *Maximum power point tracking (MPPT) in solar panels*

Jhon Edwin Vera<sup>a</sup>, Jhon Fredy Bayona<sup>b</sup>, Ricardo Sánchez Cayanza<sup>c</sup>

#### INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

##### Historia del artículo:

Enviado: Julio 2014

Recibido: Septiembre 2014

Aceptado: Noviembre 2014

##### Palabras clave:

Seguimiento del punto de máxima potencia (SPMP)

Máximo Punto de Potencia

Algoritmo

Conductancia Incremental

#### RESUMEN

Cuando se habla de energías alternativas, los paneles solares son una de las opciones más estudiadas debido a su excelente rendimiento en condiciones de radiación solar uniforme. Este artículo muestra las ventajas, simulación e implementación del algoritmo de conductancia incremental desarrollada en un procesador digital de señales DSP - por sus siglas en inglés - de gama baja de Texas Instruments TMS320F28069®, con el fin de buscar y extraer la máxima potencia, realizando pruebas en una carga resistiva.



##### Keywords:

Maximum Power Point Tracking (MPPT)

Maximum Power Point

Algorithm

Incremental conductance

#### ABSTRACT

When it comes to alternative energy, solar panels are one of the most studied due to its excellent performance under uniform solar radiation. This paper shows the advantages, simulation and implementation algorithm developed in an incremental conductance low-end DSP -digital signal processing- Texas Instrument TMS320F28069®, in order to find and extract maximum power, performing tests on a resistive load.

<sup>a</sup>Ingeniero Electrónico. Grupo de Investigación Ingeniería y Nanotecnología para la Vida (INVID). Facultad de Ingeniería, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D. C. – Colombia. e-mail: [jhonedu032@hotmail.com](mailto:jhonedu032@hotmail.com)

<sup>b</sup>Licenciada en Biología. Especialista en Bioingeniería. MsC. Ingeniería Biomédica. Grupo de Investigación Ingeniería y Nanotecnología para la Vida (INVID). Facultad de Ingeniería, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D. C. – Colombia. e-mail: [ingbayona@hotmail.com](mailto:ingbayona@hotmail.com)

<sup>c</sup>Ingeniería en control electrónico e instrumentación. Especialización en instrumentación electrónica. Estudiante de Doctorado en ingeniería. Grupo de investigación DIGITI, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D. C. – Colombia. e-mail: [sarick@gmail.com](mailto:sarick@gmail.com)

## 1. Introducción

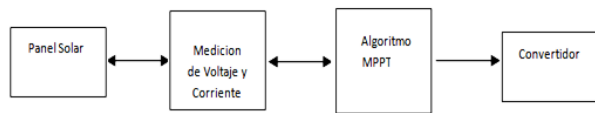
Las fuentes de energía eléctrica existentes como el carbón, el petróleo, el agua, tienden a desaparecer debido a los fenómenos climáticos que se presentan en la actualidad. El calentamiento global ha generado un índice elevado de radiación solar en las últimas décadas [1]; por esta razón, la energía solar es una de las fuentes alternativas de mayor consumo.

Por lo anterior, el presente trabajo plantea el estudio e implementación del algoritmo de conductancia incremental, siendo uno de los más utilizados para encontrar el punto de máxima potencia en paneles solares, y un punto de partida en el área de investigación en la Escuela Colombiana de Carreras Industriales (ECCI), Bogotá (Colombia), para futuros estudios y desarrollos con paneles solares.

En este sentido, existen diferentes algoritmos como el de perturbación y observación, método diferencial, series de Fibonacci, entre otros; pero el algoritmo de conductancia incremental muestra grandes ventajas como: precisión al llegar al máximo punto de potencia, poca oscilación alrededor de este punto y mayor eficiencia frente a las variaciones y perturbaciones generadas por fenómenos ambientales [2], [3]. El diagrama de la figura 1, muestra la estructura desarrollada en esta implementación basada en la medición voltajes y corrientes generadas por un panel solar; el desarrollo del algoritmo se hace por medio de un procesador digital de señales (DSP) y un convertidor topología Boost para el análisis de pruebas sobre una carga resistiva.

En consecuencia, el artículo es estructurado así: en el apartado 2 se muestra el comportamiento de un panel solar; en el 3 los materiales y métodos para medir las variables; el 4 y 5 ilustran la selección e implementación; 6 y 7 resultados y conclusiones.

**Figura 1.** Diagrama propuesto para la implementación del algoritmo.



**Fuente:** elaboración propia.

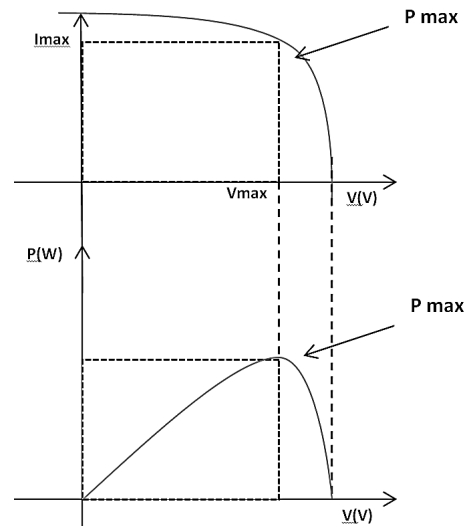
## 2. Panel Solar

En energía solar, los paneles solares son los encargados de aprovechar la energía solar convirtiéndola en energía eléctrica. Se encuentran conformados por conjuntos de células fotovoltaicas en serie o paralelo, que son las encargadas de convertir la luz en electricidad. Las conexiones en serie se utilizan para aumentar el voltaje y las que

están en paralelo se emplean para aumentar la corriente. Las celdas fotovoltaicas permiten analizar el comportamiento del panel debido a la radiación y generan curvas de voltaje y corriente V-I, que caracterizan su comportamiento [4].

En la figura 2, se puede observar el comportamiento del voltaje, la corriente y la potencia en un panel solar, ubicando el punto máximo de potencia como el producto entre estas dos variables. Esta figura se determina si las condiciones sobre el panel solar son constantes, es decir, si se mantiene la misma radiación sobre cada una de sus celdas y la misma temperatura. La respuesta de cualquier algoritmo debe rastrear la potencia hasta el punto **P max**, que se muestra en la figura.

**Figura 2.** Curva característica en un panel solar.



**Fuente:** elaboración propia.

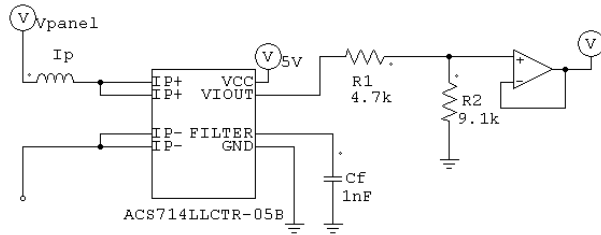
## 3. Materiales y métodos de medición de las variables

Al implementar el algoritmo de manera experimental, es necesario diseñar el sensor de Voltaje del panel solar y de la corriente en la inductancia del convertidor Boost. La adquisición, o "sensado" de las variables, es realizada por medio de un DSP Ref. TMS320F28069® utilizando sus módulos ADC y procesadas por el algoritmo MPPT para la localización del Punto máximo. Las señales de voltaje aceptadas por el Micro-Controlador en sus valores de fábrica, tienen un rango permitido entre 0 y 3.3V. El rango de voltaje en el que puede variar la fuente de emulación está entre 0 y 25 VDC; por esta razón es necesario un circuito de interfaz entre el voltaje en el panel y el rango de voltaje aceptado por las entradas ADC del DSP.

Para tomar los datos es necesario implementar un circuito externo a través de un amplificador operacional.

La figura 3 muestra el esquema general de adaptación para adquirir las variables de voltaje incluyendo un sensor de corriente lineal de efecto Hall Ref. ACS714LLCTR-05B-T.

**Figura 3.** Método de medición para variables de Voltaje y Corriente.



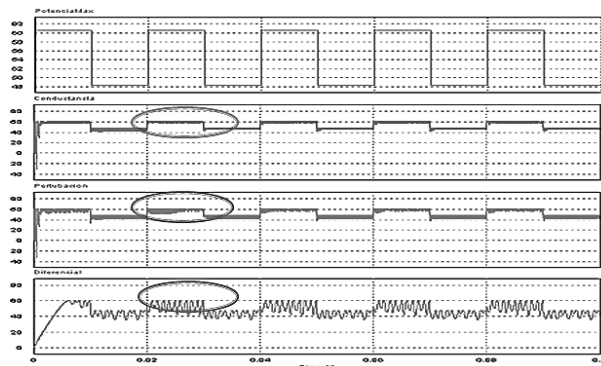
**Fuente:** elaboración propia.

La frecuencia de conmutación es de 100Khz y se establece por medio del DSP, habilitando un puerto más para realizar el control por medio del Ciclo Útil con el fin de asegurar la máxima potencia a la salida del convertidor.

#### 4. Selección del algoritmo a implementar

La selección del algoritmo se realiza efectuando simulaciones simultáneas de los algoritmos de: perturbación y observación; método diferencial; y conductancia incremental; con el fin de analizar su comportamiento y respuesta a diferentes perturbaciones. La figura 4 muestra cómo el algoritmo de conductancia incremental tiene mayor precisión y menor oscilación alrededor del punto de operación; estos algoritmos y simulaciones son realizados en el software de simulación PSIM®, cuyas licencias utilizadas pertenecen a la Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá (Colombia), PUJ.

**Figura 4.** Análisis de simulaciones diferentes algoritmos.



**Fuente:** elaboración propia.

En la figura 4, inicialmente se muestra la señal de perturbación para la simulación de los diferentes algoritmos, y se encierra sobre la segunda línea el algoritmo de conductancia incremental.

##### 4.1. Algoritmo de Conductancia Incremental (CI)

El algoritmo de conductancia incremental parte de la medición del voltaje y corriente analizando los valores actuales y los anteriores como

$$dI = I_o - I_f \text{ y } dV = V_o - V_f \quad (1)$$

Por medio de estos valores se determina como conductancia instantánea, el valor generado como condición inicial

$$-\frac{I}{V} \quad (2)$$

El término  $dI/dV$  es conocido como conductancia incremental, y es equivalente al valor de la conductancia instantánea. Cuando se encuentra el Máximo Punto de Potencia (MPP) se tiene que:

$$\frac{dP}{dV} = 0 = \frac{dI}{dV} = -\frac{I}{V} \quad (3)$$

Entonces se calcula la potencia como  $P = V I$ , por lo que se relaciona la derivada parcial respecto a la tensión, para después igualarla a cero y de esta forma calcular el máximo [5].

$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(V I)}{dV} = I + V \frac{dI}{dV}$$

Igualando a cero

$$I + V \frac{dI}{dV} = 0 \implies \frac{dI}{dV} = -\frac{I}{V} \quad (4)$$

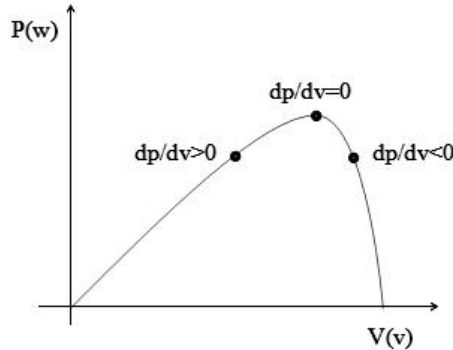
Cuando estas condiciones no se cumplen se analizan los puntos alrededor del punto máximo de la siguiente manera:

$$\text{Si } \frac{dI}{dV} > -\frac{I}{V}, \text{ entonces } \frac{dP}{dV} > 0 \quad (5)$$

$$\text{Si } \frac{dI}{dV} < -\frac{I}{V}, \text{ entonces } \frac{dP}{dV} < 0 \quad (6)$$

La figura 5 muestra el comportamiento de las derivadas con las condiciones básicas para encontrar el máximo punto de potencia.

**Figura 5.** Condiciones definidas para desarrollo del algoritmo de CI.

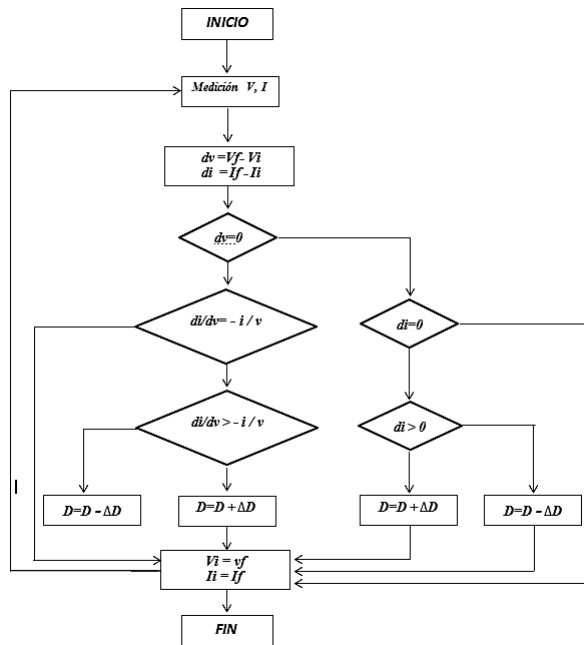


**Fuente:** elaboración propia.

Una vez el MPP se logra alcanzar, el MPPT continúa trabajando en este punto hasta que se produce un cambio en la corriente el cual puede ser generado por las variaciones de radiación sobre el panel, y el algoritmo implementado controla el ciclo útil según la ubicación del punto en el análisis de la derivada [5].

El diagrama de bloques que se muestra en la figura 6 muestra el método secuencial para encontrar el máximo punto de potencia y las condiciones necesarias para el control del ciclo útil.

**Figura 6.** Algoritmo de conductancia Incremental.



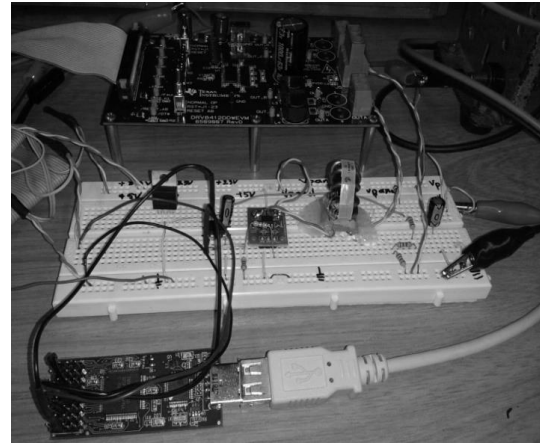
**Fuente:** elaboración propia.

## 5. Implementación del algoritmo

La implementación del algoritmo es realizada teniendo en cuenta la medición de las variables de voltaje y corriente generadas con una fuente emuladora de paneles solares suministrada por la PUJ. Estas variables son adquiridas y se implementan en el DSP de Texas Instruments Ref. F28069PNA, donde se programa el algoritmo.

Para el comportamiento del algoritmo se implementa un convertidor Boost Elevador [6, 7]; el convertidor está conectado entre la salida del panel solar y la carga predefinida, para este caso son 20W, Corriente de 1.2A y una carga de 20 Ohm aproximadamente; para aumentar la eficiencia tradicional del convertidor Boost. En la figura 7 se muestra el hardware implementado.

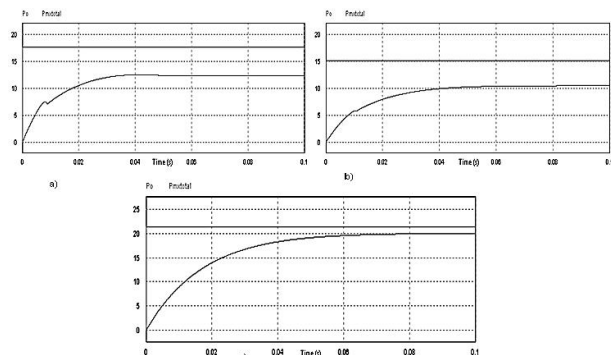
**Figura 7.** Hardware implementado para pruebas del algoritmo.



**Fuente:** elaboración propia.

## 6. Resultados experimentales

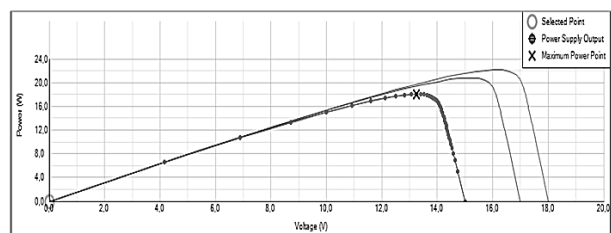
Para ver los resultados del algoritmo, se simula en el software PSIM® el panel solar y se varían las condiciones de radiación para obtener varios puntos de potencia. La figura 8 a) muestra la simulación con diferente radiación del panel solar entregando una potencia aproximada de 13 W; la figura 8 b) muestra la simulación con variación de radiación alcanzando una potencia aproximada de 10 W; y la figura 8 c) muestra la respuesta a plena radiación solar logrando una potencia de 20 W.

**Figura 8.** Simulaciones a) 13W, b) 11W, c) 20W.

**Fuente:** elaboración propia.

Para la implementación se definen los perfiles del panel solar y se prueba el algoritmo encontrando el punto máximo de potencia según sea el voltaje y la corriente simuladas.

En la figura 9 se muestra cómo el algoritmo encuentra el punto máximo.

**Figura 9.** Punto de máxima potencia sobre el emulador.

**Fuente:** elaboración propia.

## 7. Conclusiones

Debido a la poca oscilación alrededor del punto de operación que se mide en el algoritmo de conductancia incremental, Figura 4, puede ser la mejor opción frente a

otros algoritmos, para encontrar el punto de máxima potencia. Los datos simulados fueron convalidados con la implementación, gracias a que la fuente emuladora arrojó los resultados esperados; el convertidor que se implementó puede variar en función de la carga o la aplicación deseada.

## Referencias

- [1] CENSOLAR, Centro de Estudios de Energía solar. [En línea], disponible en: <http://www.censolar.es/menu2.htm>
- [2] Y-H., Ji, D-Y. Jung; C-Y. Won, B-K. Lee, J-W. Kim, "Maximum Power Point Tracking Method for PV Array under Partially Shaded Condition" Energy Conversion Congress and Exposition, 2009. ECCE 2009. IEEE Digital Object Identifier:10.1109/ECCE.2009.5316212, pp. 307– 312.
- [3] A. W. Leedy, L. Guo, K.A. Aganah, "A Constant Voltage MPPT Method for a Solar Powered Boost Converter with DC Motor Load", ISBN 978-1-4673-1375-9/12 , 2012, IEEE
- [4] J. E. Vera, "Análisis e implementación de un cargador de Baterías con MPPT".CWCAS, ISBN 978-1-4673-4613-9,2012.
- [5] M.Lokanadham, K.VijayaBhaskar, "Incremental Conductance Based Maximum Power Point Tracking (MPPT) for Photovoltaic System. International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA), ISSN: 2248-9622, Vol. 2, Issue 2, Mar-Apr 2012, pp.1420-1424.
- [6] R., Muhammad. "Electrónica de Potencia". 2 ed. Naucalpan de Juárez, Edo de México: Prentice Hall, 1995, pp. 303 – 350.
- [7] HART, Daniel. Electrónica de Potencia. Madrid: Prentice Hall, 2001, pp. 201 – 251.